Jean **Desmons**

L'USINE NOUVELLE

AIDE-MÉMOIRE

Génie climatique

4e édition

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com

DUNOD
ÉDITEUR DE SAVOIRS

Graphisme de couverture : Nicolas Hubert

Illustration de couverture : © meryll – Fotolia.com

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

© Dunod, 2008, 2009, 2012, 2015

5 rue Laromiguière, 75005 Paris
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-072134-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Préface

Nous retrouvons dans cet ouvrage, exposés d'une façon simple, les principes de fonctionnement et les éléments de calcul nécessaires à une bonne étude et à une bonne compréhension des installations de traitement de l'air.

Les parallèles entre théorie et technique, de par la simplicité des exemples choisis, sont là pour nous aider à avoir une analyse cartésienne des principes qui régissent nos installations.

Les derniers chapitres sont également là pour nous rappeler les principes simples des économies d'énergies et des énergies renouvelables.

Un bien bel ouvrage à mettre entre toutes les mains de nos professionnels de bureau d'études et de chantier…

Jean Jacquin
Président honoraire du SNEFCCA

CLIMA+CONFORT

L'offre d'info des professionnels du génie climatique

44 newsletters par an

Accès à **l'intégralité** du site

8 numéros par an

Abonnez-vous sur www.climaplusconfort.fr dès 82 € TTC

Clima+confort, une marque d'information PYC ÉDITION

Table des matières

Préface III

Avant-propos XI

1 ▪ Les bilans thermiques 1

1.1 Généralités 1
1.2 Rappels de base sur les échanges thermiques 2
1.3 Documents de base des bilans thermiques 9
1.4 Calcul des apports thermiques d'une salle de réunion 15
1.5 Les degrés-jours unifiés (DJU) 29

2 ▪ Psychrométrie 37

2.1 Notions de confort 37
2.2 Étude de cas particuliers 39
2.3 Généralités sur l'air atmosphérique 40
2.4 Principales grandeurs physiques de l'air 42
2.5 Le diagramme psychrométrique – Mode d'emploi 46
2.6 Différentes évolutions psychrométriques de base 49
2.7 Éléments de calcul 56
2.8 Calculs psychrométriques 64
2.9 Comparaison des 2 systèmes d'humidification : vapeur saturée sèche et laveur adiabatique 78
2.10 Comparaison des procédés de déshumidification 83

3 ▪ Aéraulique 95

3.1 Les pressions en aéraulique 95
3.2 Les diffuseurs 105

3.3 Les ventilateurs 112
3.4 Les gaines 130
3.5 Calcul de réseaux aérauliques 139
3.6 Étude d'un réseau aéraulique et sélection du ventilateur correspondant 150
3.7 La ventilation mécanique contrôlée (VMC) 155

4 ▪ Hydraulique 167

4.1 Généralités 167
4.2 Les pompes 167
4.3 Les vannes 174
4.4 Caractéristiques des circuits hydrauliques 180
4.5 Étude de circuits hydrauliques 192
4.6 Boucle de Tickelman 206
4.7 Les disconnecteurs 206

5 ▪ Les fluides frigorigènes utilisés en climatisation 211

5.1 Remarques préliminaires 211
5.2 Quelques éléments de physique se rapportant aux fluides frigorigènes 213
5.3 Étude comparative de 2 fluides : le R 134 a et le R 407 C 217
5.4 Étude de quelques fluides utilisés en conditionnement d'air 222
5.5 Nouvelle génération de fluides frigorigènes : les hydrofluorooléfines (HFO) 226
5.6 Récupération et régénération des fluides frigorigènes 229
5.7 Rinçage des circuits 237
5.8 Exemples de fluides frigorigènes adaptés à différentes applications 238
5.9 Tableaux donnant la relation pression-température de quelques fluides frigorigènes utilisés en traitement de l'air 238

6 ▪ Types de climatisations 245

6.1 Généralités 245
6.2 Les systèmes à détente directe 245
6.3 Les climatiseurs de toiture 251
6.4 Les armoires de climatisation 252
6.5 Les pompes à chaleur 258
6.6 Les climatisations tout air – Les centrales de traitement d'air 283
6.7 Les systèmes tout eau 306
6.8 Les systèmes mixtes : les éjecto-convecteurs et les poutres climatiques dynamiques 311
6.9 Les systèmes VRV ou DRV 317
6.10 La compression bi-étagée des pompes à chaleur haute température de faible puissance 326
6.11 Refroidissement adiabatique 330

7 ▪ Le solaire 341

7.1 Généralités 341
7.2 Principes des capteurs solaires 342
7.3 Exemples pratiques 345
7.4 Le solaire et la climatisation : les machines à absorption 348

8 ▪ La géothermie 357

8.1 Généralités 357
8.2 Géothermie se rapportant au captage de la chaleur du sol à de faibles profondeurs 357
8.3 Géothermie se rapportant à de la chaleur issue de nappe phréatique 363
8.4 Cas concret 365

9 ▪ La filtration 375

9.1 Domaines d'application 375
9.2 Types de poussières et particules 376
9.3 Principe de captation des particules 377
9.4 Principales caractéristiques d'un filtre 378

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

9.5 Méthodes d'essais 381
9.6 Types de filtres 387
9.7 Application pratique 389
9.8 Éléments concernant les salles propres 393
9.9 Éléments sur les normes 396

10 ▪ Récupération d'énergie 397

10.1 Généralités 397
10.2 Échangeurs à plaques 397
10.3 Échangeurs rotatifs 401
10.4 Récupérateurs de chaleur type caloduc 408
10.5 Échangeurs hydrauliques 413
10.6 Les puits canadiens 422

11 ▪ Le stockage de l'énergie 427

11.1 Pourquoi stocker l'énergie ? 427
11.2 Stockages sensibles et latents 428
11.3 Technologie de stockage 430
11.4 Différentes stratégies possibles 432
11.5 Conception d'une installation 436
11.6 Dimensionnement d'un STL 442
11.7 Calcul du volume du STL 446
11.8 Calcul des puissances d'échange 447

12 ▪ Mesures et comptage en génie climatique 449

12.1 Généralités 449
12.2 Mesure des pressions 449
12.3 Mesure des températures 454
12.4 Mesure de l'hygrométrie relative 457
12.5 Mesure de la vitesse 459
12.6 Mesure et calcul des débits 460
12.7 Mesure de la vitesse de rotation 462
12.8 Comptage d'énergie 463
12.9 Contrôle de la qualité de l'air 465
12.10 Centrale d'acquisition 467

13 ▪ Pratique des installations de traitement d'air 469

13.1 Vérifications avant mise en route 469
13.2 Vérifications pendant la mise en route 472
13.3 Dépannage 476
13.4 Les conduites frigorifiques 483
13.5 Les vannes à eau pressostatiques 486
13.6 Pannes 489

14 ▪ Cas pratiques de pannes ou de problèmes en génie climatique 491

14.1 Cas pratique nº 1 491
14.2 Cas pratique nº 2 493
14.3 Cas pratique nº 3 495
14.4 Cas pratique nº 4 496

15 ▪ Acoustique appliquée au génie climatique 499

15.1 Généralités 499
15.2 Définition du bruit 499
15.3 Principe de la chaîne du bruit 499
15.4 Différents types de bruits 500
15.5 Vitesse des sons 500
15.6 Fréquence 500
15.7 Caractéristiques d'un son 501
15.8 Termes et expressions de base de l'acoustique 501
15.9 Indice d'affaiblissement acoustique 513
15.10 Isolement acoustique 515
15.11 Courbes NR, ou ISO, d'évaluation du bruit 515
15.12 Réglementation acoustique 517
15.13 Les sonomètres 519
15.14 Les écrans acoustiques 520
15.15 Les silencieux 522
15.16 Acoustique des tours de refroidissement 525
15.17 Acoustique des groupes à eau glacée 528
15.18 Acoustique des condenseurs à air 529
15.19 Acoustique des bouches de soufflage 530

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

15.20 Acoustique des ventilateurs 531
15.21 Mesure du bruit 534
15.22 Prévention des nuisances acoustiques 537
15.23 Éléments de traitement des vibrations 538
15.24 Réduction de la gêne acoustique de la climatisation dans une salle de cinéma 539

Tables de conversion **543**

Index **547**

Avant-propos

Après une carrière dans l'industrie, j'ai été appelé à enseigner le traitement de l'air à des étudiants et à des professionnels du génie climatique. Cet aide-mémoire est donc la synthèse d'un vécu industriel et d'un vécu de formateur.

Dans ce manuel, la plupart des aspects du traitement de l'air sont décrits en partant des bases, cet aide-mémoire se veut donc éclectique et pratique. Le fossé culturel entre les techniciens de terrain et les techniciens de bureau d'études est de moins en moins évident. Chaque chapitre comporte donc un développement technologique et un développement théorique accompagné d'études de cas résolus.

La prise de conscience environnementale étant de plus en plus évidente, les technologies qui vont dans le sens des économies d'énergie se développent : il s'agit en particulier des pompes à chaleur, du solaire, du froid à absorption solaire, de la géothermie et du stockage d'énergie.

Cet aide-mémoire a donc l'ambition d'intéresser l'ensemble des acteurs du génie climatique.

Puisse ce livre permettre d'accroître les compétences des lecteurs… un technicien qui maîtrise bien sa technique est un technicien apprécié… et généralement heureux.

Je remercie les sociétés dont sont issues différentes figures et données :

Ace Airwell, Aldès, Anémotherm Halton, Bruel et kJer, Camfil Farr, Carrier, Ciat, Climastar, Contardo, Cristopia, Danfoss, Dehon, Dessica, EDF, Grasso, Guinard, Johnson controls, Jumo, Kimo, Sapel, SCS, Solyvent (Flakt Woods), Technibel, Trane, US Reco, Viessmann, VIM, Wesper, Yazaki.

L'auteur

1 Les bilans thermiques

1.1 Généralités

Tout projet en thermique débute par le calcul des apports et/ou des déperditions. L'été, les bilans thermiques sont presque toujours positifs, l'équipement à installer devra combattre ces apports positifs afin de garantir des conditions d'ambiance confortables.

L'hiver, les bilans thermiques sont le plus souvent négatifs, l'équipement à installer devra compenser les pertes thermiques afin de garantir des conditions d'ambiance confortables.

Beaucoup d'équipements sont conçus pour combattre les apports l'été et les déperditions l'hiver. Citons par exemple les pompes à chaleur réversibles, les centrales de traitement d'air équipées de batterie à eau glacée et de batterie à eau chaude, etc.

Le chiffrage des apports ou des déperditions peut être effectué par calcul à partir de méthodes simples ou complexes, la tendance actuelle est à l'utilisation de plus en plus fréquente de logiciels spécifiques.

Il est néanmoins tout à fait utile de pouvoir maîtriser les bilans thermiques par le calcul afin d'avoir des repères personnels quant aux valeurs moyennes !

Dans ce qui suit, nous nous limiterons aux bilans été et les apports seront calculés à partir des 2 méthodes suivantes :

- Méthode simplifiée de la société Carrier dont l'application se limite au confort.
- Méthode simplifiée de la société Airwell tenant compte des apports solaires.

1.2 Rappels de base sur les échanges thermiques

Les matériaux ont un comportement thermique spécifique. Les thermiciens affectent à chaque matériau un coefficient de conductivité thermique dont le symbole est **λ (lambda)**. La figure 1.1 donne l'explication du coefficient de conductibilité thermique.

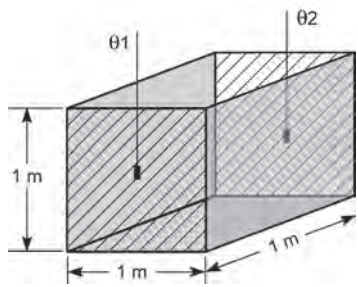


Figure 1.1 Élément de base permettant de définir le coefficient de conductibilité (λ)

Le flux thermique qui s'opère entre 2 faces opposées de surface **1 m²**, distantes de **1 m** et soumises à une différence de température (**θ1 – θ2**) de **1 °C** caractérise le coefficient de conductivité thermique du matériau.

$$\text{Flux thermique} = \lambda \frac{S \times \Delta\theta}{d}$$

Flux thermique en **W**, **S** : surface en **m²**, **d** : distance en **m**, **Δθ** : différence de température en **°C**, **λ** est le coefficient de conductivité thermique spécifique du matériau.

$$\text{D'où : } \lambda = \frac{\Phi \times d}{S \times \Delta\theta} = \frac{W \times m}{m^2 \times °C} = \frac{W}{m \times °C}$$

Le coefficient de conductivité thermique s'exprime donc en **W/(m.°C)**.

Des tableaux donnent les coefficients de conductivité thermique de tous les matériaux avec les masses volumiques correspondantes.

Tableau 1.1 Caractéristiques thermiques de différents matériaux

Coefficient de conductivité thermique λ (W/m.°C)		
Matériaux	ρ (kg/m³)	λ (W/m.°C)
Acier	7 780	52
Aluminium	2 700	230
Béton plein de granulats lourds	2 200 à 2 400	1,75
Béton cellulaire autoclavé	775 à 825	0,33
Béton cellulaire autoclavé	675 à 725	0,27
Béton de perlite ou de vermiculite	600 à 800	0,31
Briques creuses		0,5
Briques pleines	1 800 à 2 200	0,9
Carreaux de plâtre ou plaques de plâtre	750 à 1000	0,35
Cuivre	9 830	380
Hourdis béton avec entraxe des poutrelles de 0,6 m, dalle de compression comprise		1,3
Hourdis terre cuite avec entraxe des poutrelles de 0,6 m, dalle de compression comprise		0,8
Laine de roche	18 à 25	0,047
Laine de roche	60 à 100	0,039
Laine de verre	7 à 10	0,047
Laine de verre	25 à 65	0,034
Liège expansé aggloméré au brai	340	0,048
Liège expansé pur	210	0,043
Parpaings creux		1
Parpaings pleins		1,4
Pierre calcaire dure (marbre)	2 600	2,9
Pierre calcaire tendre	1 470 à 1 640	0,95

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Pierre granit	2 500 à 3 000	3,5
Polystyrène expansé	10 à 12	0,047
Polystyrène extrudé	28 à 32	0,035
Mousse de polyuréthane	30 à 34	0,03
Plâtre	1 100 à 1 300	0,5
Tartre	2 500	1,2 à 3
Verre	2 700	1

Résistance au flux thermique de lame d'air non ventilée R en m².°C/W							
Lame d'air verticale	Épaisseur (mm)	5 à 7	7 à 9	9 à 11	11 à 13	14 à 24	25 à 50
	R (m².°C/W)	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16

La valeur des coefficients de conductivité thermique d'un même matériau peut varier légèrement, elle dépend des procédés d'élaboration, des masses volumiques (variables) par exemple.

Les transferts thermiques à travers une paroi dépendent :

- de la conductivité thermique du ou des matériaux constituant la paroi,
- de l'épaisseur des différents constituants,
- de la valeur de la convection (**h**) de part et d'autre de cette paroi,
- de l'ensoleillement.

Le coefficient de conductivité thermique prend comme référence le mètre d'épaisseur. Le flux thermique dû à la conduction est inversement proportionnel à l'épaisseur.

Le coefficient de transmission thermique de symbole « **U** » est égal à **λ/e** :

$$U = \frac{\lambda}{e} = \frac{\frac{W}{m \times °C}}{m} = \frac{W}{m^2 \times °C}$$

Le coefficient d'échange thermique dû à la convection est d'autant plus important que la vitesse de l'air en contact avec la paroi est importante.

Les coefficients d'échange thermique dus à la convection sont donc variables.

Généralement, dans les cas classiques, on prend pour la convection intérieure **hi = 8 W/(m².°C)** et pour la convection extérieure **he = 23 W/(m².°C)**.

Quant au rayonnement, les apports solaires sont donnés par des tableaux qui tiennent compte de la latitude, de l'exposition, de l'heure, de la nature des parois, etc.

Dans la pratique, le calcul des transferts thermiques est facilité par l'utilisation de la résistance au flux thermique (symbole **R**).

R est l'inverse du coefficient de transmission thermique **R = 1 / U** :

$$R = \frac{1}{U} = \frac{1}{\frac{W}{m^2 \times °C}} = \frac{m^2 \times °C}{W}$$

Étude d'une paroi simple

Prenons l'exemple d'une paroi simple extérieure réalisée en parpaings pleins de **20 cm** d'épaisseur et dont le coefficient de conductivité thermique est **λ = 1,4 W / (m.°C)**.

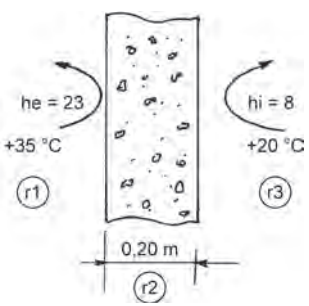


Figure 1.2 Différentes résistances au flux thermique d'une paroi simple

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Résistance totale au flux thermique de cette paroi :

$$R = r1 + r2 + r3 = \frac{1}{23} + \frac{0,2}{1,4} + \frac{1}{8} = 0,31 \frac{m^2 \times °C}{W}$$

Coefficient d'échange thermique :

$$U = 1/R = 1/0,31 = 3,225 \text{ W/(m}^2\text{.°C)}.$$

■ Étude des températures

Chute de température due à la convection extérieure (**he**) :

$$\Delta\theta = \frac{15 \times 0,04}{0,31} = 2 \text{ °C}$$

Chute de température due aux parpaings :

$$\Delta\theta = \frac{15 \times 0,153}{0,31} = 7 \text{ °C}$$

Chute de température due à la convection intérieure (**hi**) :

$$\Delta\theta = \frac{15 \times 0,125}{0,31} = 6 \text{ °C}$$

Représentation des températures au niveau de cette paroi simple :

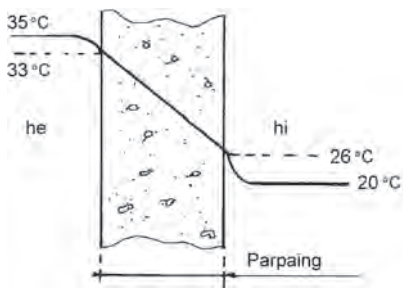


Figure 1.3 Évolution des températures au niveau d'une paroi simple

Étude d'une paroi composée

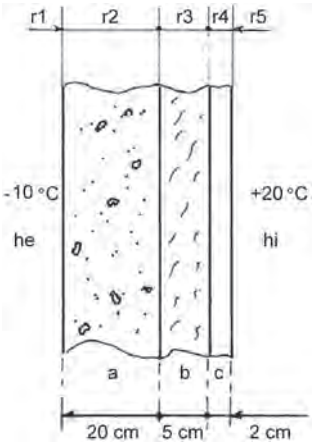


Figure 1.4 Exemple de paroi composée

he : convection extérieure = **23 W/m².°C** ; **a** : parpaing de **20 cm,** λ **= 1,4 W/m.°C** ; **b** : polystyrène de **5 cm**, λ **= 0,03 W/m.°C** ; **c** : plâtre de **2 cm,** λ **= 0,5 W/m.°C** ; **hi** : convection intérieure **= 8 W/m².°C**.

Calcul des résistances partielles

r1 (convection extérieure) = 1/23 = **0,043 (m².°C)/W.**

r2 (parpaing) = e/λ = 0,2/1,4 = **0,143 (m².°C)/W.**

r3 (polystyrène) = e/λ = 0,05/0,03 = **1,67.**

r4 (plâtre) = e/λ = 0,02/0,5 = **0,04.**

r5 (convection intérieure) = 1/8 = **0,125.**

La résistance totale de cette paroi au flux thermique est :

R = 0,043 + 0,143 + 1,67 + 0,04 + 0,125 = **2,02 (m².°C)/W.**

Le coefficient d'échange thermique « **U** » est donc égal à 1/2,02 = **0,5 W/(m².°C).**

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Calcul des chutes de températures dues aux différentes résistances au flux thermique :

$$\Delta\theta(r1) = \frac{30 \times 0{,}043}{2{,}02} = 0{,}64\ °C$$

$$\Delta\theta(r2) = \frac{30 \times 0{,}143}{2{,}02} = 2{,}12\ °C$$

$$\Delta\theta r3 = \frac{30 \times 1{,}67}{2{,}02} = 24{,}8\ °C$$

$$\Delta\theta r4 = \frac{30 \times 0{,}04}{2{,}02} = 0{,}6\ °C$$

$$\Delta\theta r5 = \frac{30 \times 0{,}125}{2{,}02} = 1{,}86\ °C$$

$\Delta\theta$ total = 0,64 + 2,12 + 24,8 + 0,6 + 1,86 = **30 °C.**

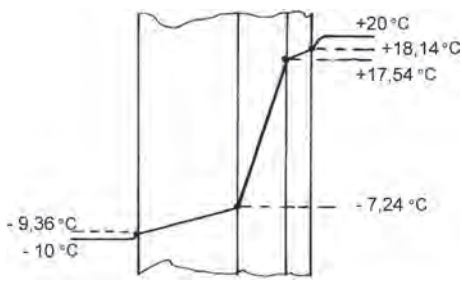
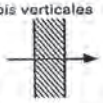
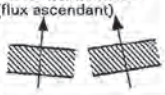
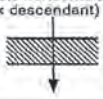


Figure 1.5 Évolution des températures au niveau d'une paroi composée

1.3 Documents de base des bilans thermiques

Les tableaux suivants donnent des exemples de documents pour réaliser des bilans thermiques.

Tableau 1.2 Valeurs des différentes résistances superficielles

Inclinaison des parois et sens du flux de chaleur	Unités	Parois extérieures			Parois intérieures		
		$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}+\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}+\frac{1}{h_e}$
Parois verticales 	(m². °C/W)	0,11	0,06	0,17	0,12	0,12	0,24
	(m².h. °C/kcal)	(0,13)	(0,07)	(0,20)	(0,14)	(0,14)	(0,28)
Parois horizontales (flux ascendant) 	(m². °C/W)	0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
	(m².h. °C/kcal)	(0,11)	(0,06)	(0,17)	(0,12)	(0,12)	(0,24)
Parois horizontales (flux descendant) 	(m². °C/W)	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34
	(m².h. °C/kcal)	(0,20)	(0,06)	(0,26)	(0,20)	(0,20)	(0,40)

hi : coefficient de transmission par convection sur la paroi intérieure.
hi en W/(m² × °C)

he : coefficient de transmission par convection sur la paroi extérieure.
he en W/(m² × °C)

Ri : résistance superficielle au flux thermique.
Ri = 1/hi en (m² × °C) /W

Re : résistance superficielle au flux thermique.
Re = 1/he en (m² × °C) /W

Résistance totale superficielle au flux thermique R totale = Re + Ri.

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Tableau 1.3 Apport de chaleur dû aux occupants

Degré d'actvité	Application type	Métabolisme homme adulte	Métabolisme moyen	Température sèche du local									
				28		27		26		24		21	
				Watt		Watt		Watt		Watt		Watt	
				S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
Assis, au repos	Théâtre, école primaire	114	102	51	51	57	45	61	41	67	35	75	27
Assis, travail léger	École secondaire	131	116	52	64	56	60	63	53	70	46	79	37
Employé de bureau	Bureau, hôtel, appartement, école supérieure	139	131	52	79	58	73	63	68	71	60	82	49
Debout, marche lente	Magasin, boutique	161											
Assis, debout	Drugstore	161	146	62	94	58	88	64	82	74	72	85	61
Debout, marche lente	Banque	161											
Travail léger à l'établi	Usine, travail léger	234	219	56	163	64	155	72	147	86	133	106	113
Danse	Salle de danse	263	248	64	184	72	176	80	168	95	153	117	131
Marche, 5 km/h	Usine, travail assez pénible	292	292	79	213	88	204	96	196	111	181	134	158
Travail pénible	Piste de bowling, usine	438	423	131	292	136	287	142	281	153	270	176	247

S : apport de chaleur sensible.
L : apport de chaleur latente.

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Tableau 1.4 Conditions de base extérieures : été / hiver (Doc. Carrier)

Département et ville	Conditions de base normales Été – Juillet : 15 h		Écart diurne	Conditions de base normales Hiver		Vents dominants Direction et vitesse (km/h)		Altitude (m)	Latitude N
	Temp. sèche (°C)	Temps humide (°C)	Moyen (°C)	Temp. sèche (°C)	Degrés-jours cumulés normaux	Hiver	Été		
Alpes-Maritimes Nice	32	23,5	8,2	–2	891	NE – 15	SO – 11,5	3	43° 40
Aube Romilly	31	20,5	13,4	–10	2 015			77	48° 30
Bas-Rhin Strasbourg	30	20,0	10,1	–14	2 222	S – 15	S – 13	151	48° 33
Basses-Pyrénées Biarritz	29	21,0	7,0	–5	1 012			29	
Bouches-du-Rhône Aix-en-Provence Marseille	35 34	21 21,5	12,6	–5 –5	1 205	NO – 26,5	NO – 27	3	43° 31
Calvados Caen	26	18,5	10,6	–7	1 846	O – 20,5	O – 15	66	49° 10
Charente Cognac Angoulême	32 31	20,5 22	13,4	–5 –5				30 83	45° 40 45° 40
Charente-Maritime La Rochelle Rochefort	31 31	20,5 21,2	10,4 9,8	–4 –4	1 420			14	46° 11

Cher Bourges	31	20	12,2	–7	1 848			157	47° 04
Côte-d'Or Dijon	31	20,5	12,0	–10	2 070			220	47° 15
Corse Ajaccio	35	23	12,0	–2	943			4	41° 55
Drôme Montélimar	33	22	13,0	–6	1 517			73	44° 35
Finistère Brest	25	18,5	7,8	–4	1 575			98	48° 27
Gard Nîmes	35	22,5	13,2	–5	1 198			59	43° 52
Gironde Bordeaux Cazaux	32 31	21 22	10,2 11,8	–4 –4	1 432 1 322	O – 18	O – 13,5	47 24	44° 50 44° 32
Haute-Garonne Toulouse	32	20,5	12,6	–6	1 468	O – 19	O – 16,5	151	43° 37
Haute-Loire Le Puy	30	19	14,0	–5	2 297			714	45° 03
Haut-Rhin Mulhouse	31	20	10,4	–14	2 343			267	47° 36
Haute-Vienne Limoges	30	19,5	13,2	–8	1 915			282	45° 42
Ille-et-Vilaine Rennes	28	19,5	12,2	–5	1 687			35	48° 04

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Indre-et-Loire Tours	30	20		–7	1 733			96	47° 25
Loir-et-Cher Romorantin	31	20,5	11,2	–7	1 862			80	
Loire St-Étienne	31	19,5	13,6	–8	2 031			399	45° 32
Loire Atlantique Nantes	31	21	10,3	–5	1 594	O – 18,5	SO – 16	26	47° 10
Loiret Orléans	30	19,5	11,2	–7	1 927			125	47° 59
Maine-et-Loire Angers	30	20	12,0	–7	1 703			54	47° 30
Manche Cherbourg	24	19	5,8	–4	1 513			8	49° 39
Marne Reims	30	20	12,1	–10	2 060			94	49° 18
Meurthe-et-Moselle Nancy	29	19	11,0	–11	2 249			203	48° 42
Moselle Metz	30	20	11,2	–11	2 233			189	49° 05
Nord Lille	28	18,5	11,0	–9	2 088			55	50° 34
Oise Beauvais	29	19	12,4	–7	2 075	SO – 19	O – 14,5	101	49° 27

Orne Argentan	28	19,5	10,8	–7				160	
Pas-de-Calais Dunkerque	25	18	7,4	–9	1 950			9	
Puy-de-Dôme Clermont-Ferrand	31	21,5	13,5	–8	1 904			329	45° 48
Pyrénées-Orientales Perpignan	31	22,5	11,0	–4	899	NO – 21,5	NO – 18,5	43	42° 44
Rhône Lyon	32	20	12,0	–8	1 894	N – 15	N – 17,5	196	45° 43
Saône-et-Loire Mâcon	31	20	13,4	–8	1 995			216	46° 18
Seine Paris	30	20	11,2	–7	1 905	NE – 22	O – 19	89	48° 44
Seine-Maritime Dieppe Rouen	26 29	19,5 19,5	9,8 12,6	–7 –7	1 964			68	49° 23
Somme Abbeville	28	19,5	10,3	–9	2 002	SO – 20	O – 17	57	50° 08
Var Toulon	32	22,5	12,7	–2	826	E – 25,5	O – 21	28	43° 06
Vienne Poitiers	30	19,5	9,8	–7	1 258			118	48° 35

1.4 Calcul des apports thermiques d'une salle de réunion

Prenons l'exemple d'un projet de climatisation en région parisienne. Le cahier des charges stipule une température intérieure moyenne de **22 °C**.

Nombre d'occupants : **30**.

Occupation de 9 heures à 12 heures et de 14 heures à 17 heures.

Éclairage : **30 W/m²**.

Vitrage simple de **6 mm** d'épaisseur, coefficient d'échange thermique **U = 5,7 W/m².°C**.

La partie vitrée est équipée de stores intérieurs en aluminium. Le matériel informatique apporte **2 kW**.

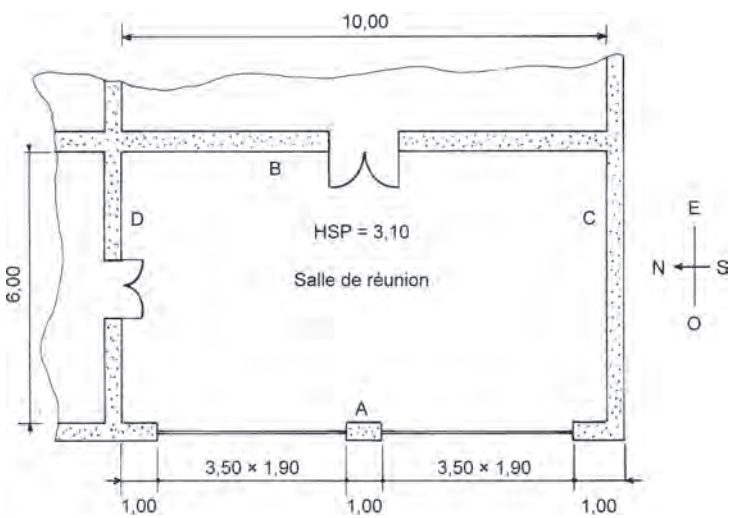


Figure 1.6 Salle de réunion à climatiser

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Paroi A : Béton de **20 cm** d'épaisseur couleur extérieure : vert pâle.

Parois B et D : Cloison en carreaux de plâtre de **10 cm** d'épaisseur.

Paroi C : Paroi comportant une isolation thermique, son coefficient de transmission **U** est égal à **1,5 W/m².°C**. La couleur extérieure de cette paroi est également vert pâle.

Revêtement du plancher : moquette collée sur dalle de béton de **7 cm**.

Il convient de considérer 30 m³ cubes d'air neuf par occupant.

Considérer un **Δθ de 5 °C** pour les parois intérieures.

Calculer les charges maximales en été de ce local à partir de 2 méthodes. Sélectionner ensuite l'équipement approprié à ce local.

Calcul des apports par la méthode simplifiée de sélection de Carrier

Tableau 1.5 Méthode Carrier

Description		Quantité		Facteur				Watt
Latitude Nord				**Température extérieure en °C**				
				32	**35**	**38**		
1 – Fenêtres exposées au soleil (ne prendre qu'une seule exposition, sélectionner celle qui donne le résultat le plus élevé)	**S ou E**		×	132	142	158	=	**3 977**
	SO			243	252	267		
	O	13,3 m²		*299*	315	330		
	NO et SE			180	190	205		
2 – Toutes fenêtres non comprises en -1-			×	63	79	94	=	
3 – Murs exposés au soleil (prendre la même exposition qu'en -1-)	Construction légère		×	58	67	77	=	**114**
	Construction lourde	**3 ml**		*38*	48	58		
4 – Tous les murs non compris en -3-		**6 ml**	×	*24*	34	43	=	**144**
5 – Cloisons (toutes cloisons intérieures adjacentes à un local non climatisé)		**16 ml**	×	*20*	29	38	=	**320**

6 – Plafond ou toiture	Local non conditionné au-dessus		60 m²	×	3	9	16	=	**180**
	Plafond avec mansarde au-dessus	Non isolé			26	31	41		
		50 mm d'isolation			9	9	13		
	Terrasse avec plafond dessous	Non isolé			22	26	28		
		50 mm d'isolation			9	9	13		
	Toiture	Non isolée			44	50	57		
7 – Plancher	Local non conditionné au dessous ou sur vide sanitaire		60 m²	×	6	9	16	=	**360**
8 – Occupants	(comprenant le renouvellement d'air passant dans l'appareil)		**30 pers.**	×	*293*			=	**8 790**
9 – Éclairage et appareils électriques en fonctionnement			**3 800 W**	×	1			=	**3 800**
10 – Portes ou baies continuellement ouvertes sur un local non conditionné				×	240	240	288	=	
11 – Bilan total								=	**17 685**

Remarque

Cette méthode simplifiée permettant seulement d'obtenir un bilan thermique approché ne pourra pas être utilisée dans des cas où des garanties précises de température et d'hygrométrie sont exigées.

■ Calcul des apports thermiques pour le conditionnement d'air par la méthode Airwell

Les apports thermiques sont de 3 ordres :

- apports par transmission,
- apports internes,
- apports par rayonnement solaire.

□ Apports par transmission

Ceux-ci seront calculés suivant la manière habituelle à l'aide des chiffres des colonnes III – IV – et V, le produit sera porté dans la colonne V du tableau 1.10 (cf. plus loin).

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

☐ Apports internes

Ils seront calculés en remplissant les cases du bas de la fiche de calcul (tableau 1.10).

☐ Apports par rayonnement solaire

Ils seront calculés en remplissant les cases du bas dans la colonne IX (tableau 1.10).

Apports dus à la chaleur provenant du rayonnement solaire sur les murs

I (mur) : rayonnement solaire absorbé sur la surface du mur en **W/m²**.

Il dépend de l'orientation du mur et de l'heure pour laquelle le calcul a été effectué et, également de la latitude sous laquelle le local se trouve.

L'heure d'apport solaire maximal est déterminée à l'aide des figures d'orientation (figure 1.7) et du tableau 1.8.

La valeur **I (mur)** est donnée dans le tableau 1.9 dans la colonne « **m** » en fonction de :

- la latitude,
- l'orientation du mur,
- l'heure.

A : coefficient d'absorption de la paroi recevant le rayonnement. Il dépend de la couleur et de la nature du mur ou du vitrage selon tableau 1.7.

S : facteur du rayonnement indiquant la part de chaleur absorbée par la surface et transmise à travers le mur du local (figure 1.8).

R (mur) : quantité de chaleur traversant le mur. Elle est donnée par la formule :

$$R\,(mur) = I\,(mur) \times A \times S$$

Apports dus à la chaleur provenant du rayonnement solaire sur les vitrages

I (vit) : intensité du rayonnement solaire en **W/m²**.